

HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

# **EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO FRÍO EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA COMO HERRAMIENTA DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL**

## **ASSESSMENT OF THE HYDRAULIC FOOTPRINT OF THE COLD RIVER HYDROGRAPHIC SUB-BASIN IN THE DEPARTMENT OF CUNDINAMARCA AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY**

Melissa Andrea Hoyos Chaverra  
Ingeniera Ambiental-Universidad Libre , Supervisora de Operaciones  
Área Limpia D.C S.A.S E.S.P  
Bogotá, Colombia  
U2701002@unimilitar.edu.co

### **Artículo de Investigación**

#### **DIRECTOR**

**Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájar**

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)  
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec  
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica  
de Madrid (España)  
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)  
Microbióloga Industrial – Pontifica Universidad Javeriana  
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto  
  
Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada  
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U  
**acreditada**  
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS  
NATURALES  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAYO 2020**

HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

# **EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO FRÍO EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA COMO HERRAMIENTA DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL**

## **ASSESSMENT OF THE HYDRAULIC FOOTPRINT OF THE COLD RIVER HYDROGRAPHIC SUB-BASIN IN THE DEPARTMENT OF CUNDINAMARCA AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY**

Melissa Andrea Hoyos Chaverra  
Ingeniera Ambiental-Universidad Libre , Supervisora de Operaciones  
Área Limpia D.C S.A.S E.S.P  
Bogotá, Colombia  
U2701002@unimilitar.edu.co

### **RESUMEN**

Los elementos de gestión y el uso actual del recurso hídrico es una de las problemáticas que enfrenta Colombia actualmente, a eso sumado los impactos generados por el crecimiento poblacional y desarrollo industrial. Por ello esta investigación busca evaluar la Huella Hídrica del Río Frío como mecanismo de sostenibilidad ambiental de pequeños cuerpos de agua. El proceso se desarrollo en tres etapas: la primera consistió en la determinación del alcance del estudio, seguido de la cuantificación de las huellas hídricas contempladas en el alcance y por último la formulación de estrategias parala gestión de la huella hídrica, siguiendo la metodología expuesta por el IDEAM. Como resultado se obtuvo que la subcuenca del río Frío presenta buena sostenibilidad ambiental, ya que gran porcentaje del agua demandada regresa a la fuente, por otro lado la investigación permitió establecer que no existe una línea base, ni información actualizada para desarrollar estudios a pequeños cuerpos de agua en Colombia.

**Palabras clave:** Recurso hídrico; Huella Hídrica; Sostenibilidad ambiental.

### **ABSTRACT**

The elements of management and the current use of the water resource is one of the problems facing Colombia today, added to which are the impacts generated by population growth and industrial development. For this reason, this research seeks to evaluate the Frio River Water Footprint as a mechanism for the environmental sustainability of small water bodies. The process was developed in three stages: the first was the determination of the scope of the study, followed

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

by the quantification of the water footprints contemplated in the scope and finally the formulation of strokes for the management of the water footprint, following the methodology set out by IDEAM. As a result, it was found that the sub-basin of the Frio River has good environmental sustainability, since a large percentage of the water in demand is returned to the source, while the research established that there is no baseline, and up-to-date information to develop studies of small water bodies in Colombia.

**Keywords:** water resource; water footprint; environmental sustainability.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso del agua aumenta proporcionalmente con el crecimiento de la población, el desarrollo económico e industrial de manera exponencial, lo cual ha generado efectos negativos como escases del recurso hídrico a nivel mundial y afectación en la calidad del mismo, estableciendo desafíos en la disponibilidad del agua para establecer mecanismos que garanticen su sostenibilidad y equidad ( UNESCO,2018).

Según el Estudio Nacional del Agua generado por el IDEAM ( 2018) , la oferta hídrica en Colombia es alta, debido a su ubicación estratégica en el Ecuador, sin embargo se presenta una presión sobre el recurso hídrico en algunos departamentos de la zona Hidrográfica Magdalena-Cauca, entre ellos Cundinamarca, debido a la alta demanda generada por los asentamientos humanas, desarrollo agropecuario, polos industriales y de desarrollo, generando a su vez contaminación del mismo, con base en esto se han desarrollado diferentes estrategias y políticas de conservación y manejo del recurso hídrico.

En Colombia se han desarrollado varios planes, programas y políticas para lograr la adecuada gestión y sostenibilidad ambiental del Recurso Hídrico, la más implementada son los POMCAS ( Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas) que buscan establecer un diagnóstico, prospectiva, zonificación, seguimiento y evaluación de una cuenca hidrográfica ( Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), sin embargo aún existiendo este tipo de

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

estrategias, existen aún falencias como la actualización continua y temporal, la evaluación a diferentes escalas de cuenca que den total cobertura al territorio nacional y la cuantificación de los resultados obtenidos por la evaluación realizada.

Con base en lo anterior han surgido nuevos instrumentos como estrategia de gestión del recurso hídrico en cuanto a su eficiente aprovechamiento, como lo es la Huella Hídrica, herramienta que brinda una visión más integral del impacto de los seres humanos sobre el ambiente más específicamente lo relacionado con el agua para poder así sustentar la toma de decisiones con respecto a la planificación del recurso (García, Guerrero & Seguí, 2016).

En 2020, en Ecuador en la Universidad de las Fuerzas Armadas se desarrolló el estudio “Análisis de la Sostenibilidad mediante huella hídrica de la microcuenca del río Pita, Ecuador”, en busca de establecer un manejo sostenible para la disponibilidad de agua del Río Pita, utilizando la metodología del cálculo de la Huella Hídrica. (Fernández & Lala, 2020). Adicional a esto en Colombia el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (2013) desarrolla la “Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del Río Porce” presenta la evaluación de la Huella Hídrica como una Herramienta de Gestión del Recurso Hídrico que permite establecer relaciones socioambientales y sus causas e Impactos, permitiendo obtener información específica de la situación actual del Recurso Hídrico para así llegar a la formulación de estrategias que permitan reducir las huellas generadas por el hombre sobre este recurso.

La Subcuenca Hidrográfica del Río Frío durante su recorrido desde su nacimiento en el Páramo de Guerrero ubicado en el Departamento de Zipaquirá y su desembocadura en el municipio de Chía en el Río Bogotá, atravesando durante su recorrido 7 municipios siendo *“el eje estructurante para el desarrollo y el crecimiento agrícola de toda el área que constituye la*

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

*subcuenca; beneficiando la red de vallados y el distrito de riego, fundamental para la continuidad de dicha actividad”.*(CAR,2006,p 13).

Sin embargo estos servicios se han visto afectados por la generación de impactos y presiones sobre el recurso ( Venegas, 2013), logrando que “la oferta hídrica suministrada por el cuerpo de agua no sea suficiente para satisfacer la demanda superficial de los municipios aledaños utilizada para la realización de sus actividades económicas; principalmente, el riego de pastos y cultivos de papa, arveja, zanahoria y maíz; generando una fuerte presión sobre este recurso hídrico” (Hoyos, Rodriguez, & Torres, 2018),en busca de cuantificar el impacto y establecer medidas de sostenibilidad ambiental se pretende realizar la evaluación de la Huella Hidrica en este ecosistema.

En el siguiente capitulo se muestra la metodología de investigación desarrollada para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro del proceso de investigación se hace necesario realizar una descripción de algunos conceptos utilizados dentro de la misma.

La Huella Hidrica fue desarrollada como un indicador de impactos generados sobre el recurso hidrico, ya sea por su afectación a la disponibilidad o contaminación del mismo, siendo así el volumen de agua utilizado por una comunidad, organización o individuo, utilizada para la producción de sus bienes y servicios.(Hoekstra,2002).

En este caso la estimación se realizo para una cuenca hidrográfica, que se define tecnicamente como limite en el cual drena agua en un punto común (Global Water Patership, 2011),sin embargo el concepto engloba mucho más siendo así un territorio dinámico en donde

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

cooperan e interactúan comunidades, usuarios e instituciones y los impactos generados por sus actividades con su capacidad de prestar ciertos servicios ecosistémicos como la regulación de caudal y autorecuperación de contaminantes.(FAO,2009).

La determinación de la huella hídrica se lleva a cabo a través de tres componentes; la Huella Hidrica Azul que evalúa la cantidad de agua extraída de la cuenca,seguido de la Huella Hidrica Verde utilizada para procesos agrícolas y se refiere al agua almacenada en el suelo que es evapotranspirada y por último la Huella Hidrica Gris, siendo un indicador de la calidad del recurso en términos de asimilación de contaminantes por parte de la fuente de agua.(IICA,2017).

Con base en lo anteriorla huella hídrica se calcula mediante la siguiente ecuación

$$HH_{\text{área}} = \sum_q HH_{\text{proceso}}(i) \quad (1)$$

En donde;

$HH_{\text{área}}$ : Huella Hidrica de la cuenca

$HH_{\text{proceso}}$ : Huella Hidrica del proceso (i) estimado

Concluyendo que para el calculo de la Huella Hidrica es necesario realizar la sumatoria de las Huellas del mismo color para cada proceso que se lleve a cabo dentro de la cuenca hidrográfica que tengan un impacto sobre la misma (Agricultura, Ganaderia, Urbanización, Industria, entre otros).

Para la evaluación de la huella hídrica en la subcuenca hidrográfica del Río Frío se implementaron las tres etapas mostradas a continuación:

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

**Etapas 1: Definición del Alcance de la Huella Hídrica.** Para efecto de la determinación del alcance, se realizó primero una delimitación de la subcuenca hidrográfica del Río Frío usando ArcGis, seguido de un análisis del uso del suelo de la cuenca usando shapefiles como herramientas para así determinar las actividades productivas a contemplar dentro del cálculo de la huella hídrica.

**Etapas 2: Cuantificación de la huella azul y verde de la Subcuenca Hidrográfica del Río Frío.** En esta etapa primero se realizó la recolección de datos de fuentes primarias y secundarias y junto con el uso del suelo y el alcance determinado, se procede a realizar los cálculos pertinentes siguiendo la metodología propuesta por el IDEAM en el informe Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia (2014), para el sector doméstico y para el Sector Agrícola se toman como base los valores establecidos en el ENA (2018), para los cultivos existentes y se ajustan a las áreas correspondientes dentro de la cuenca.

**Etapas 3: Formulación de estrategias para la gestión de la huella hídrica.** Con base en los resultados obtenidos de la etapa anterior, se plantean recomendaciones de acciones propuestas enfocadas a reducir la huella hídrica.

A continuación se desarrollan los resultados y discusión obtenidos de la presente investigación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

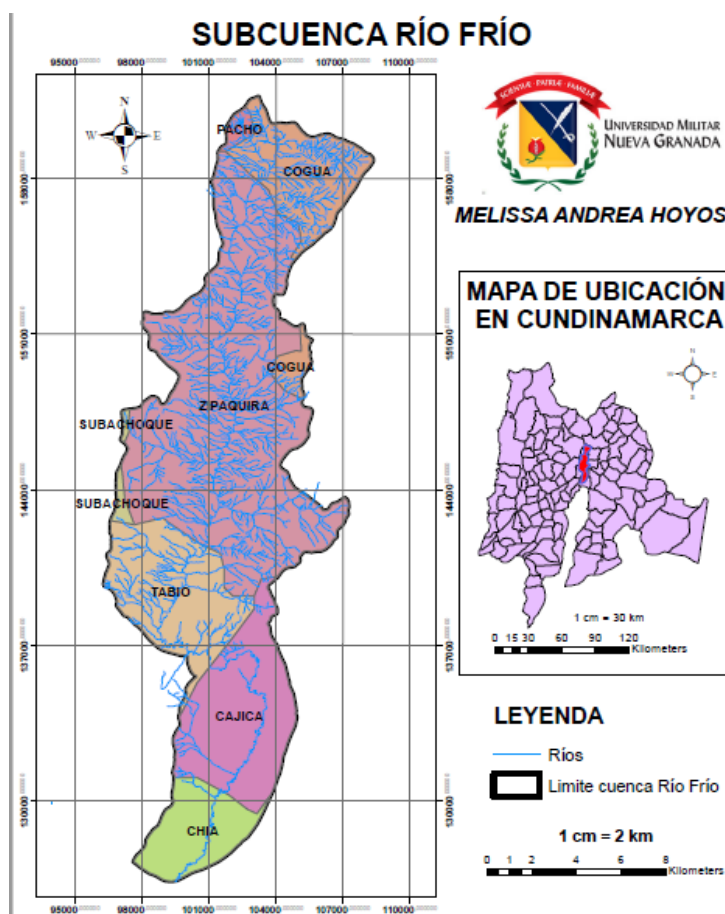
### **Etapas 1: Definición del Alcance de la Huella Hídrica:**

#### ➤ **Alcance Geográfico**

La subcuenca Hidrográfica del Río Frío pertenece a la cuenca del Río Bogotá, con un área de 202 km<sup>2</sup>, alturas que oscilan entre 2600 y 3700 m, nace en el paramo de Guerrero y atraviesa

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

los municipios de Cogua, Pacho, Zipaquirá, Subachoque, Tabio, Cajica y Chía, para desembocar en el Río Bogotá. (CAR, 2006).



**Figura 1.** Ubicación Geográfica Subcuenca Río Frío

Fuente: Autor

### ➤ Alcance Metodológico

Para la determinación del alcance a desarrollar en el presente estudio se realizó un análisis de información geográfica obteniendo como resultado un mapa de usos del suelo de la subcuenca usando como herramienta ArcGuis.



## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO



**Figura 2.** Mapa usos del suelo del Río Frío

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que el 69,08 % del uso del suelo es de tipo Agrícola, que el porcentaje de la minería es menor al 1%, se determinó la Huella Hídrica únicamente para las actividades agrícolas y domésticas.

Adicional a esto, ya que es un artículo con fines académicos y no es posible realizar mediciones de calidad del recurso Hídrico, no se contempló el cálculo de la Huella Hídrica Gris.

### ➤ Alcance Temporal y de Información Base

Como información base se tomó la información más reciente aportada por el ENA, DANE, RAS, IGAC.

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

### **Etapla 2: Cuantificación de la huella azul y verde de la Subcuenca Hidrográfica del Río Frío:**

#### **Componente Doméstico**

La determinación de la Huella Hídrica doméstica se realizó por municipio, contemplando la proyección de población del DANE para el año 2020, las áreas de cada municipio correspondiente a la subcuenca del Río Frío, contemplando la población rural dispersa y la Dotación neta establecida por el RAS para climas templado y Frío y el Nivel de Complejidad Medio Alto, con respecto al factor de no retorno se contempló el valor establecido en el ENA del 2018.

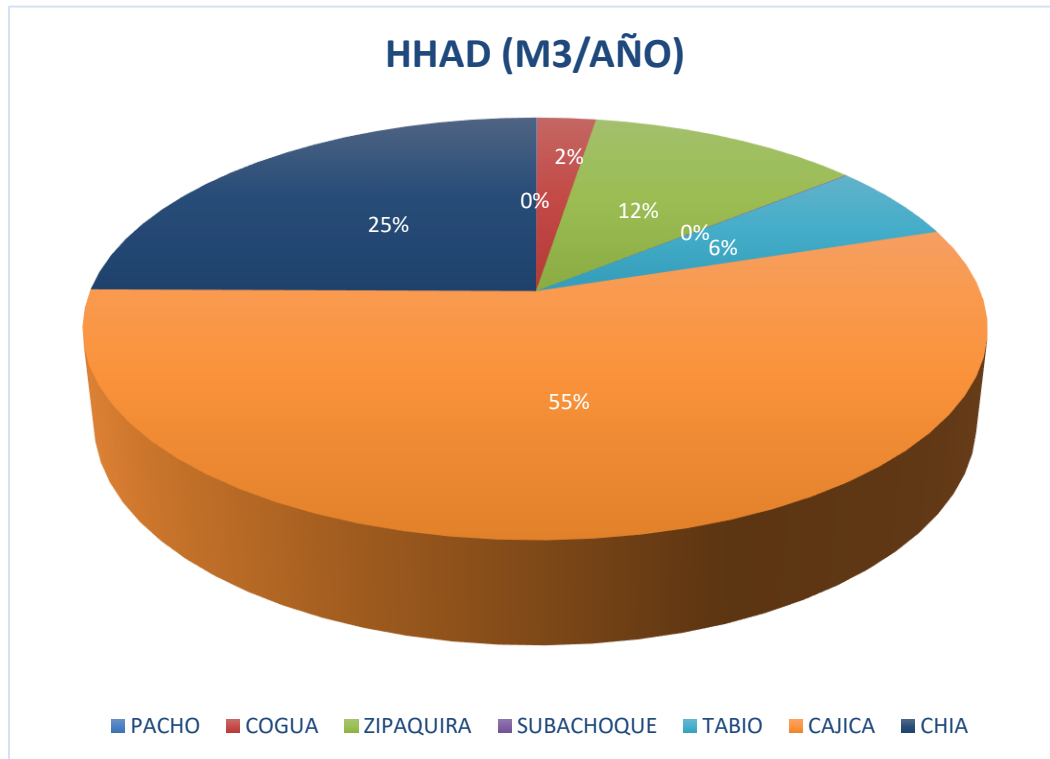
En la Tabla 1 y Figura 3 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 1.**

*Huella Hídrica Azul Doméstica*

<b>Municipio</b>	<b>HHAD (m3/año)</b>
<b>Pacho</b>	947
<b>Cogua</b>	56.889
<b>Zipaquira</b>	264.854
<b>Subachoque</b>	1.099
<b>Tabio</b>	133.759
<b>Cájica</b>	1.256.490
<b>Chía</b>	567.267

Fuente: Autor



**Figura 3.** Distribución de Huella Hídrica en el Río Frío

Fuente: Autor

### Sector Agrícola

Para la cuantificación de la Huella Hídrica Azul y verde de la Cuenca, se determinaron los principales cultivos existentes en los municipios pertenecientes a la misma ( Flores, papa, Arveja, Zanahoria, Maíz y Pasto), junto al shapefile de cobertura de uso del suelo del IGAC para establecer las áreas dentro de la cuenca y los valores de la Huella Hídrica establecida para diferentes cultivos en Colombia establecidos en el ENA del 2018, para así establecer los valores dentro de la cuenca.

En la tabla 2 se relacionan los valores obtenidos.

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

**Tabla 2.***Huella Hídrica Agrícola*

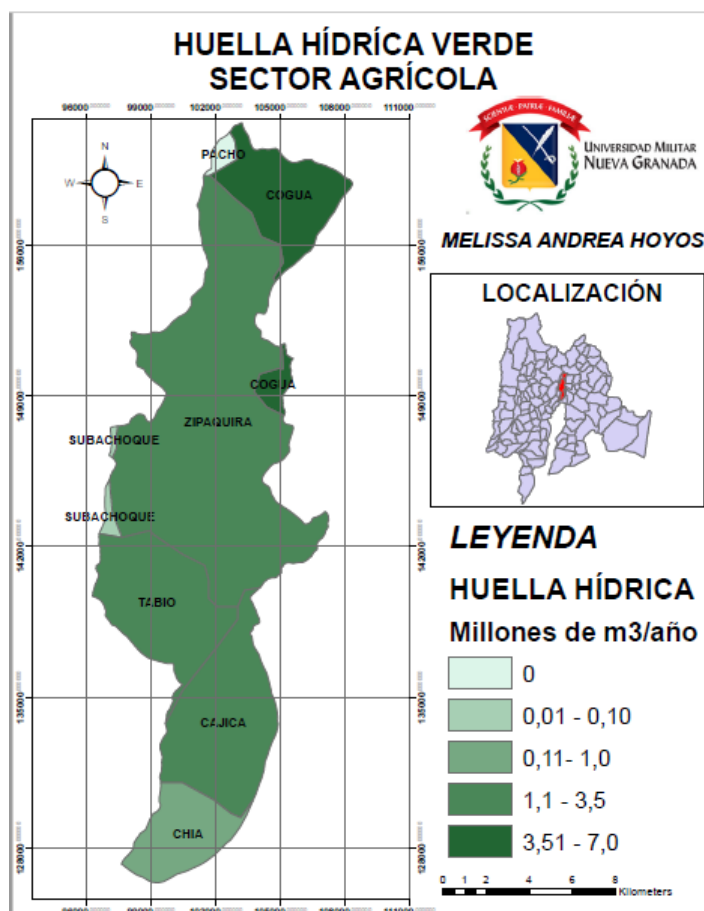
	<b>HHa ( Mm3/año)</b>	<b>HHV (Mm3/año)</b>
<b>PACHO</b>	0,00295	0,01999
<b>COGUA</b>	1,20453	6,12556
<b>ZIPAQUIRA</b>	0,61977	3,30288
<b>SUBACHOQUE</b>	0,00361	0,02069
<b>TABIO</b>	0,60184	2,02244
<b>CAJICA</b>	1,14580	1,31148
<b>CHIA</b>	0,32647	0,96130
<b>TOTAL</b>	<b>3,90496</b>	<b>13,76435</b>

Fuente: Autor

**Huella Hídrica Verde**

Se presenta el mapa resultante en la Figura 4.

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO



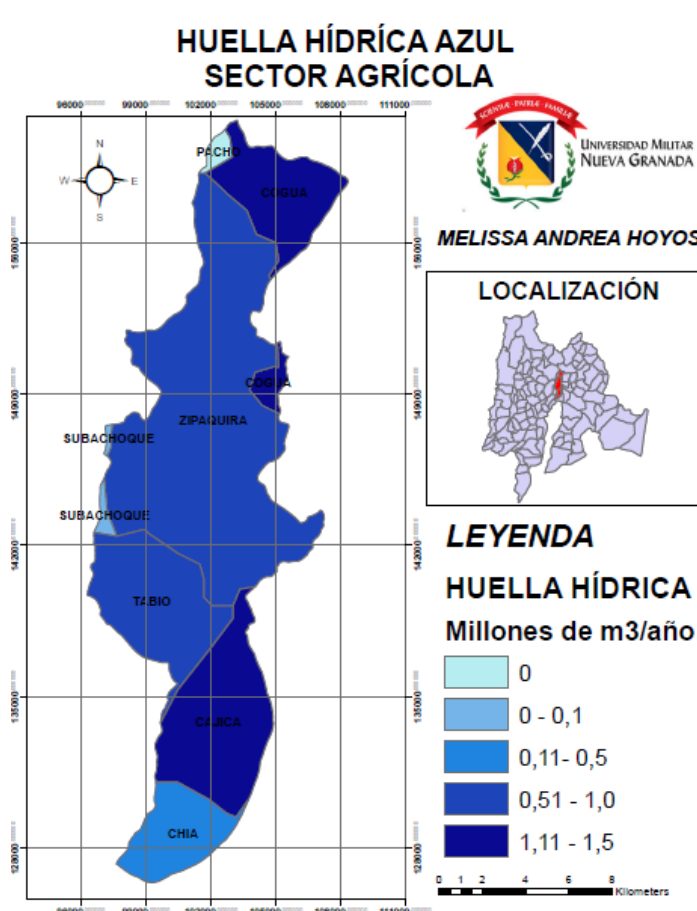
*Figura 4.* Huella Hídrica Verde Agrícola Río Frío

Fuente: Autor

### Huella Hídrica Azul

Se presenta el mapa resultante en la Figura 5.

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO



*Figura 5. Huella Hídrica Azul Agrícola Río Frío*

Fuente: Autor

### **Etapas 3: Formulación de estrategias para la gestión de la huella hídrica.**

Para mejorar la gestión de la huella hídrica y así mismo del recurso hídrico del río Frío se plantean las siguientes estrategias.

#### ➤ **Nivel de Cuenca**

Actualizar y ampliar bases de datos del estado y usos del agua a escalas hidrográficas más detalladas, ya que los estudios nacionales los realizan a escala de Áreas y Subzonas Hidrográficas, dificultando la obtención de información para proyectos de pequeñas escalas.

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

Actualizar y detallar la cartografía existente

Desarrollar el POMCA del Río Frío y actualizar información existente, ya que únicamente existe el Diagnostico generado por la CAR en el año 2006, para poder identificar y atender los conflictos de uso del suelo y recursos naturales.

Ampliar el seguimiento y control por parte de las autoridades ambientales con respecto al adecuado uso del recurso hídrico, así mismo intensificar programas de cooperación con los usuarios del agua, en cuanto a planes de concientización, educación ambiental y Gobernanza participativa.

Fortalecer el cumplimiento de la normatividad, políticas, programas y planes ambientales.

### ➤ **Sectorizadas**

Teniendo en cuenta que la mayor Huella Hídrica proviene del sector agrícola debido a su requerimiento de riego, se proponen prácticas agrícolas sostenibles, entre ellas capacitaciones a la comunidad campesina acerca de técnicas de análisis del suelo “caseras” para así poder aplicar sistemas de riego eficientes, fertilización adecuada, adopción del compostaje, entre otros, adicional a esto implementar sistemas agrosilvopastoriles y promover la adquisición de tecnologías más limpias y eficientes en los procesos agrícolas.

En cuanto al sector Doméstico es necesario el desarrollo de planes que motiven al cambio de hábitos de consumo.

### **Discusión**

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

La subcuenca del Río Frío cuenta con una concentración poblacional principalmente rural, con excepción de los municipios de cájica y chíá quienes presentan casco urbano dentro de la misma y por lo cual son los mayores aportantes a la Huella Hídrica, hay que tener en cuenta que dentro de la cuenca existen otras fuentes de abastecimiento de agua como el acueducto Tibitoc-Casablanca.

La huella Hídrica Doméstica no es representativa con respecto a la Huella Hídrica agrícola, teniendo en cuenta que representa la mayor actividad económica de la subcuenca.

El valor más significativo de Huella Azul y verde por el sector agrícola corresponde al municipio de Cogua, debido a que en este se encuentra el 80% de los cultivos de papa dentro de la subcuenca, cuyo requerimiento de irrigación es frecuente y superficial y debido a su ubicación en la cuenca alta donde la precipitación varía entre 1100 y 1300 mm (CAR,2006), dentro de su proceso consume gran cantidad de agua lluvia la cual es necesario complementar con procesos de riego, debido a la poca profundidad de sus raíces.

## CONCLUSIONES

La evaluación de la huella hídrica en la subcuenca del río Frío permitió evaluar que este cuerpo de agua presenta buena sostenibilidad ambiental, ya que aproximadamente el 90 % del agua extraída para los diferentes usos retorna a la cuenca, sin embargo se realizó la formulación de estrategias que permitan lograr una gestión más integral de este Recurso Hídrico.

Su cuantificación permite complementar las herramientas de gestión del Recurso Hídrico como los POMCAS, ya que genera una perspectiva más completa del uso del agua dentro de la cuenca.



**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CAR. (2006). Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá subcuenca del río frío. Recuperado de:  
[https://www.openaire.eu/search/publication?articleId=od\\_3056::d6366c89fee0911472e70499876d8893](https://www.openaire.eu/search/publication?articleId=od_3056::d6366c89fee0911472e70499876d8893)
- Centro de ciencia y tecnologia de Antioquia. (2013). Evaluacion de la huella hidrica en la cuenca del rio porce mayo 2013
- Departamento Administrativo Nacional de Estadisticas. (2018). Proyecciones de Población  
Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- FAO. (2009). ¿por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?
- Fernandez & Lala. (2020). Art. huella hidrica. Instituto Mexicano de Tecnologia del agua:
- Garcia, Guerrero, & Segui. (2016). Huella hídrica: Análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos
- Global Water Parnership. (2011). Qué es una cuenca Hidrológica?. Lima: Recuperado de: <http://www.econis.eu/PPNSET?PPN=511726074>
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management, 21(1), 35-48.  
doi:10.1007/s11269-006-9039-x
- Hoyos, Rodriguez, & Torres. (2018). EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO FRÍO EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA: OFERTA, DEMANDA Y CALIDAD DEL AGUA. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(1), 127.doi:10.22490/21456453.2075 Recuperado de: <https://search.proquest.com/docview/2161030033>

## HUELLA HÍDRICA DEL RÍO FRÍO

- Hüsken, S. (2015). Papa (Orig.-Ausg. ed.). München: Knaur Taschenbuch. Recuperado de: [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=4822904&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=4822904&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm)
- IDEAM. (2014). Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua 2014
- IDEAM. (2018). Estudio nacional del agua
- IICA. (2017). Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2010). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico - RAS
- UNESCO. (2018). Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para la gestión del agua. recuperado de: <http://dx.doi.org/10.18356/2922bd44-es>
- Venegas. (2013). Estudio preliminar de la subcuenca del río frío en el tramo comprendido por el municipio de cajicá. Bogotá: